

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 8月14日  
Date of Application:

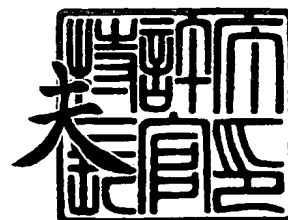
出願番号 特願2003-207575  
Application Number:  
[ST. 10/C]: [JP2003-207575]

出願人 ファイベスト株式会社  
Applicant(s):

2003年10月 8日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井 康



【書類名】 特許願

【整理番号】 PFBA-15346

【提出日】 平成15年 8月14日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 1/015

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都八王子市明神町 4 - 1 4 - 1    ファイベスト株式  
                                会社内

    【氏名】 中川 茂

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都八王子市明神町 4 - 1 4 - 1    ファイベスト株式  
                                会社内

    【氏名】 雙田 晴久

【特許出願人】

    【識別番号】 303015538

    【氏名又は名称】 ファイベスト株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100089118

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 酒井 宏明

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 036711

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書    1

    【物件名】 図面    1

    【物件名】 要約書    1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光モジュールおよび光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光伝送路に挿入される光モジュールにおいて、  
半導体で構成され、入射側に設けられた光伝送路より入射された光を増幅する  
光増幅部と、

半導体で構成され、前記光増幅部により増幅された光を伝搬させた後、出射側  
に設けられた光伝送路へ出射させる光素子と、  
を備えたことを特徴とする光モジュール。

【請求項 2】 前記光増幅部は、順方向の直流電流を注入させ光増幅を制御  
する直流制御部を備えていることを特徴とする請求項 1 に記載の光モジュール。

【請求項 3】 前記直流制御部は、逆方向の直流電流または順方向であって  
所定値以下の直流電流を注入させ、光減衰を制御することを特徴とする請求項 2  
に記載の光モジュール。

【請求項 4】 前記光素子は、  
前記光増幅部からの光を伝播させる第 1 光導波路と、  
前記第 1 光導波路に対して光学的な交差が生じる位置関係で配置され、光を伝  
播させる第 2 光導波路と、

前記第 1 及び第 2 光導波路に沿って配置された第 1 リード電極と、  
前記第 1 光導波路に沿いかつ前記交差の部分を挟んで対向配置され、前記第 1  
リード電極を介して前記交差の状態を制御する制御電圧が印加される 1 対の第 1  
制御電極と、

前記第 1 リード電極と対向配置された第 2 リード電極と、  
前記第 2 光導波路に沿いかつ前記交差の部分を挟んで対向配置され、前記第 2  
リード電極を介して前記制御電圧が印加される 1 対の第 2 制御電極と、から構成  
されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 つに記載の光モジュール。

【請求項 5】 前記第 1 リード電極と前記第 2 リード電極とは、前記第 1 及  
び第 2 光導波路を挟んで対向配置されていることを特徴とする請求項 4 に記載の



光モジュール。

【請求項 6】 前記第 1 リード電極と前記第 2 リード電極とは、略平行に配置されていることを特徴とする請求項 5 に記載の光モジュール。

【請求項 7】 前記第 1 光導波路と前記第 2 光導波路とは、物理的に立体交差した状態で配置されていることを特徴とする請求項 4 乃至 6 のいずれか 1 つに記載の光モジュール。

【請求項 8】 前記交差の部分は、2 x 2 マルチモード干渉結合器を構成していることを特徴とする請求項 4 乃至 6 のいずれか 1 つに記載の光モジュール。

【請求項 9】 前記交差の部分は、X 形交差導波路を構成していることを特徴とする請求項 4 乃至 6 のいずれか 1 つに記載の光モジュール。

【請求項 10】 前記第 1 光導波路と前記第 2 光導波路とは、前記交差の部分において互いに略平行に接近した状態で配置されていることを特徴とする請求項 4 乃至 6 のいずれか 1 つに記載の光モジュール。

【請求項 11】 前記交差の部分における前記第 1 光導波路と前記第 2 光導波路との間隔は、他部分における前記第 1 光導波路と前記第 2 光導波路の間隔よりも狭いことを特徴とする請求項 10 に記載の光モジュール。

【請求項 12】 前記第 1 及び第 2 制御電極はいずれも、長手方向に関し複数に分割された制御電極片を有していることを特徴とする請求項 4 乃至 11 のいずれか 1 つに記載の光モジュール。

【請求項 13】 前記第 1 及び第 2 光導波路はいずれも、長手方向に隣り合う前記制御電極片の間の真下以外は、クラッドである P 層と N 層の間にコアである I 層が挟まれた P I N 構造であり、該 P 層の上に、対応する該制御電極片が堆積され、該長手方向に隣り合う該制御電極片の間の真下の光導波路については、該 P I N 構造から P 層を除去した構造であり、該 P I N 構造の N 層は、該第 1 及び第 2 光導波路に共通の層であること、

を特徴とする請求項 12 に記載の光モジュール。

【請求項 14】 前記第 1 及び第 2 光導波路はいずれも、3 層形又は I 層埋込形の P I N 構造であり、該 3 層形の場合には該第 1 及び第 2 光導波路の P 層の上にそれぞれ該第 1 及び第 2 制御電極が堆積され、該 I 層埋込形の場合には該第



1 及び第 2 光導波路の I 層の上にそれぞれ該第 1 及び第 2 制御電極が堆積され、該第 1 及び第 2 光導波路の N 層が堆積され、DC バイアス電圧が印加される共通の N+ 層さらに有することを特徴とする請求項 4 乃至 13 のいずれか 1 つに記載の光モジュール。

【請求項 15】 前記第 1 及び第 2 光導波路の少なくとも一方が延設された第 3 光導波路と、

該第 3 光導波路と光結合が生ずるように該第 3 光導波路に平行に接近して配置された第 4 光導波路と、

該第 4 光導波路のコア層に電界をかけて該コア層の屈折率を変化させるため、該第 4 光導波路に沿って配置された第 3 制御電極と、

を備えた方向性結合器型光減衰器をさらに有することを特徴とする請求項 4 乃至 14 のいずれか 1 つに記載の光モジュール。

【請求項 16】 前記光増幅部と前記光素子とを電氣的に絶縁する一方、光学的に結合させる電氣的絶縁部を備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 15 のいずれか 1 つに記載の光モジュール。

【請求項 17】 請求項 1 乃至 16 のいずれか 1 つに記載の光モジュールを有することを特徴とする光通信システム。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

本発明は、光ファイバ通信に用いて好適な光モジュールおよび光通信システムに関するものであり、特に、光伝送路に対する挿入損失を低減することができる光モジュールおよび光通信システムに関するものである。

##### 【0002】

##### 【従来の技術】

図 20 は、従来の光モジュール 300 の実装状態を示す図である。同図において、光モジュール 300 は、光ファイバ 301 と光ファイバ 302 との間に挿入されている。光モジュール 300 は、レンズ 303、レンズ 304、光素子 305、光ファイバ 301 の端部および光ファイバ 302 の端部から構成されている

。光素子 305 は、光導波路を有する光変調器、光スイッチ、方向性光結合器等である。

#### 【0003】

光ファイバ 301 は、光素子 305 の入射側に設けられており、内部伝搬している光を光素子 305 へ導く。この光ファイバ 301 の出射面 301 a は、レンズ 303 を介して、光素子 305 の入射面 300 a と光学的に結合される。

#### 【0004】

一方、光ファイバ 302 は、光素子 305 の出射側に設けられており、光素子 305 から出射された光を内部伝搬させる。この光ファイバ 302 の入射面 302 a は、レンズ 304 を介して、光素子 305 の出射面 300 b と光学的に結合される。

#### 【0005】

上記構成において、光ファイバ 301 の出射面 301 a から出射された光は、レンズ 303 により集光され、光素子 305 の入射面 300 a に入射し、光素子 305 の光導波路（図示略）を伝搬する。

#### 【0006】

そして、光素子 305 の出射面 300 b から出射された光は、レンズ 304 により集光され、光ファイバ 302 の入射面 302 a に入射し、光ファイバ 302 を伝搬する。

#### 【0007】

ここで、光ファイバ 301 と光ファイバ 302 との間に光モジュール 300 を挿入した場合の挿入損失は、つぎの（1）式で表される。

$$\text{挿入損失} = (\text{結合損失}) + (\text{光素子内損失}) \cdots (1)$$

#### 【0008】

（1）式において、結合損失は、光ファイバ 301 の出射面 301 a と光素子 305 の入射面 300 a との間の光結合に伴う損失と、光素子 305 の出射面 300 b と光ファイバ 302 の入射面 302 a との間の光結合に伴う損失との和である。光素子内損失は、光が光素子 305 を伝搬する際の損失である。

#### 【0009】

## 【特許文献1】

特開 2003-163406 号公報

## 【0010】

## 【発明が解決しようとする課題】

ところで、従来においては、図 20 に示した光素子 305 の材料として、リチウムナイオベートが用いられている。リチウムナイオベートは、半導体に比べて光素子 305 のサイズが大きくなるが、結合損失が約 0.5 dB と比較的低いという利点を備えている。

## 【0011】

ここで、リチウムナイオベートの光素子 305 の挿入損失は、結合損失（約 0.5 dB）と光素子内損失（約 0.5 dB）との和であり、約 1.0 dB である。

## 【0012】

近年では、光モジュール 300（光素子 305）の小型化、薄型化に関する要請を受けて、従前のリチウムナイオベートに代えて、半導体が光素子 305 の材料として用いられている。

## 【0013】

半導体は、リチウムナイオベートに比べて、光素子 305（光モジュール 300）を小型、薄型にできるという利点を備えているが、結合損失が約 5.0 dB にも達するという欠点がある。なお、光素子 305 が半導体である場合には、光モジュール 300 の挿入損失は、結合損失（約 5.0 dB）と光素子内損失（約 0.5 dB）との和であり、約 5.5 dB にも達する。

## 【0014】

すなわち、光素子 305 を半導体で構成した場合には、小型化に引き替え、リチウムナイオベートの場合に比べて、挿入損失が約 5.0 dB も大きいという問題があった。これは、半導体の場合にサイズの小型化に伴って光素子 305 の光導波路での光モードサイズも、リチウムナイオベートの場合よりも小さくなるため、光結合時の損失が大きくなるからである。

## 【0015】

なお、光モードサイズとは、光導波路（光ファイバも含む）における光の電界分布がガウシアンであると仮定した場合、電界が最大値の  $1/e$  になるときの幅の  $1/2$  をいう。

#### 【0016】

本発明は、上記に鑑みてなされたもので、光伝送路に対する挿入損失を低減することができる光モジュールおよび光通信システムを提供することを目的とする。

#### 【0017】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は、光伝送路に挿入される光モジュールにおいて、半導体で構成され、入射側に設けられた光伝送路より入射された光を増幅する光増幅部と、半導体で構成され、前記光増幅部により増幅された光を伝搬させた後、出射側に設けられた光伝送路へ出射させる光素子と、を備えたことを特徴とする。

#### 【0018】

また、本発明は、上記発明の光モジュールを有することを特徴とする光通信システムである。

#### 【0019】

かかる発明によれば、入射側に設けられた光伝送路より入射された光を半導体で構成された光増幅部で増幅し、増幅された光を伝搬させた後、出射側に設けられた光伝送路へ光素子より出射させることとしたので、光伝送路に対する挿入損失を低減することができる。

#### 【0020】

##### 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明にかかる光モジュールおよび光通信システムの実施の形態 1 および 2 について詳細に説明する。

#### 【0021】

##### （実施の形態 1）

図 1 は、本発明にかかる実施の形態 1 の構成を示す図である。この図において



、図20の各部に対応する部分には同一の符号を付ける。図1においては、図20に示した光モジュール300に代えて、光モジュール400が設けられている。

#### 【0022】

光モジュール400は、光ファイバ301と光ファイバ302との間に挿入されている。この光モジュール400は、半導体光増幅部410、光素子430、レンズ303、レンズ304、光ファイバ301の端部および光ファイバ302の端部から構成されている。半導体光増幅部410は、光モジュール400の入射側に設けられており、光ファイバ301の出射面301aからレンズ303を介して入射面410aに入射された光を増幅する。半導体光増幅部410は、例えば、0～15dBまでの間で利得を可変することができる。例えば、半導体光増幅部410の利得を約5.5dBとした場合には、光モジュール400の挿入損失(約5.5dB)が相殺される。

#### 【0023】

図2は、図1に示した半導体光増幅部410の構成を示す斜視図である。同図に示した半導体光増幅部410において、InP(n<sup>+</sup>)の基板411の上には、InP(n)の下部クラッド層412が形成されている。

#### 【0024】

この下部クラッド層412の上には、略矩形断面形状の活性層413が形成されている。また、半導体光増幅部410は、活性層413を覆うように形成された、InP(p)の上部クラッド層414、コンタクト層415、InP(p)の埋め込み層416およびInP(n)の埋め込み層417からなる積層体構造を有している。

#### 【0025】

積層体418の上面には、上面電極419が形成されている。一方、積層体418の下面には、下面電極420が形成されている。直流制御部421は、上面電極419および下面電極420に接続されており、順方向の直流電流Iを上面電極419から注入する。

#### 【0026】

図1に戻り、光素子430は、光導波路を有する光変調器、光スイッチ、方向性光結合器等であり、光モジュール400の出射側に設けられている。この光素子430には、半導体光増幅部410により増幅された光が入射される。また、光素子430の出射面430aから出射された光は、レンズ304を介して、光ファイバ302の入射面302aに入射される。

#### 【0027】

半導体光増幅部410および光素子430は、いずれも半導体からなり、光モジュール400を構成している。

#### 【0028】

上記構成において、光ファイバ301の出射面301aから出射された光は、レンズ303により集光され、半導体光増幅部410の入射面410aに入射する。これにより、図2に示した直流制御部421から順方向の直流電流が注入されているため、入射面410aに入射した光は、半導体光増幅部410の活性層413を伝搬する間に増幅され、図1に示した光素子430に入射される。

#### 【0029】

なお、実施の形態1においては、直流制御部421により逆方向の直流電流I（または順方向であって所定値以下の直流電流I）を注入し、活性層413を伝搬する光を減衰させ、オプティカルシャッタの構成としてもよい。

#### 【0030】

そして、光は、光素子430の光導波路（図示略）を伝搬し、出射面430aから出射した後、レンズ304により集光され、光ファイバ302の入射面302aに入射し、光ファイバ302を伝搬する。

#### 【0031】

ここで、光ファイバ301と光ファイバ302との間に光モジュール400を挿入した場合の挿入損失は、つぎの(2)式で表される。

$$\text{挿入損失} = (\text{結合損失}) + (\text{光素子内損失}) - (\text{利得}) \cdots (2)$$

#### 【0032】

(2)式において、結合損失は、光ファイバ301の出射面301aと半導体光増幅部410の入射面410aとの間の光結合に伴う損失と、光素子430の

出射面 430a との間の光結合に伴う損失との和であり、約 5.0 dB である。光素子内損失は、光が光素子 430 を伝搬する際の損失であり、約 0.5 dB である。利得は、半導体光増幅部 410 における光増幅利得であり、0 ~ 15 dB の範囲で可変される。

#### 【0033】

ここで、半導体光増幅部 410 の利得を 5.5 dB とした場合、実施の形態 1 における挿入損失は、約 0.5 dB ( (約 5.0 dB) + (約 0.5 dB) - (約 5.5 dB) ) であり、0 dB とされ、完全に相殺される。また、半導体光増幅部 410 の利得を 5.5 dB より高くすることにより、光モジュール 400 のトータルで数 dB 以上の利得が得られる。

#### 【0034】

つぎに、図 1 に示した光素子 430 の具体例について、図 3 ~ 図 16 を参照しつつ説明する。

#### 【0035】

図 3 は、図 1 に示した光素子 430 の具体例としての  $\Delta\beta$  反転方向性結合器型変調器 2 の構成を示す平面図である。 $\Delta\beta$  反転方向性結合器型変調器 2 において、光導波路 18 には、半導体光増幅部 410 で増幅された入射光が入射される。

#### 【0036】

この  $\Delta\beta$  反転方向性結合器型変調器 2 は、 $\Delta\beta$  交換方向性結合のために十分接近している平行制御電極 12、13、14、15 を備えた 1 対の光導波路 10、11 を含んでいる。このようなデバイスを動作させるために、信号源 16、17 からの反対符号の電気的変調信号を必要とする。ここに、 $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2$  であり、 $\beta_1$  及び  $\beta_2$  はそれぞれ光導波路 10 及び 11 を伝播する光の伝播定数である。伝播定数差  $\Delta\beta$  は、位相不整合とも称されている。

#### 【0037】

$\Delta\beta$  反転方向性結合器型変調器 2 の全体の結合領域長 (相互作用長)  $L$  が、結合長  $l = \pi / (2\kappa)$  より長く該結合長の 3 倍より短い場合には、クロス状態およびバー状態がそれぞれ、特定印加電圧のとき得られる。ここに  $\kappa$  は、結合係数である。電圧  $V_c$  および  $V_b$  は、結合領域長  $L$ 、結合長  $l$  及び位相不整合  $\Delta\beta$  に

より定り、 $V_c < V_b$ である。

#### 【0038】

印加電圧が $V_c$ のときのクロス状態では、上側（図面上で上側）の光導波路18の入射光は、第1方向性結合器における上側の光導波路10および下側（図面上で下側）の光導波路11の終端で、各々入力電力の50%ずつに分配されている。その後、 $\Delta\beta$ 反転方向性結合器型変調器の相反性（時間を逆にした動作も真であるという性質）によって、出射光は、第2方向性結合器の光導波路19の終端だけから現れる。

#### 【0039】

印加電圧が $V_b$ のときのバー状態では、上側の光導波路18の入射光は、第2方向性結合器の上側の光導波路20の終端にのみ伝播する。従って、構造パラメータの広い公差にもかかわらず、信号電圧により、クロス状態およびバー状態の両方を制御することができる。

#### 【0040】

図4は、図1に示した光素子430の具体例としての $\Delta\beta$ 反転方向性結合器型変調器4の構成を示す図である。同図において、変調信号は、1つの信号発生器21により供給され、負荷22で終端している。

#### 【0041】

第1方向性結合器23および第2方向性結合器24に反対符号の信号を印加するために、同図に示すように中央部5で進行波電極25、26を曲げて交差させている。また、伝播定数差 $\Delta\beta$ を効率的に得るために、第1および第2方向性結合器が電氣的に完全に分離される。

#### 【0042】

図5は、図1に示した光素子430の具体例としての方向性結合器型変調器100を示す平面図である。図6は、図5の3A-3A線に沿った縦断面図である。

#### 【0043】

この方向性結合器型変調器100は、一対の光導波路32、33の第1部と第2部とを用いた第1方向性結合器27および第2方向性結合器29と、光導波路

32、33における第1方向性結合器27と第2方向性結合器29との間の部分である交差導波路28とを備えている。

【0044】

第1方向性結合器27および第2方向性結合器29は互いに同一構成であり、光導波路と、該光導波路に沿って配置され該光導波路のコア層に電界を印加してTE (Transverse Electric) 波に対し屈折率を変化させる制御電極とを備えている。図5中の39及び40は、第1方向性結合器27の制御電極であり、41及び42は、第2方向性結合器29の制御電極である。

【0045】

各光導波路は、P層とN層の間にI層が挟まれたPIN構造であり、コア層であるI層の屈折率は、クラッド層であるP層及びN層のそれよりも大きい。制御電極39～42は、該P層の上に堆積されている。

【0046】

交差導波路28は、立体交差路のように、光導波路43と光導波路44とが上下に離間して交差している。第1方向性結合器27の、45の位置にある上側の出力ポートは、光導波路43を介し第2方向性結合器29の、48の位置にある下側の入力ポートに接続されている。同様に、第1方向性結合器27の、49の位置にある下側の出力ポートは、光導波路44を介し第2方向性結合器29の、51の位置にある上側の入力ポートに接続されている。図5は一律の縮尺ではなく、交差導波路28の長さが結合長に比し充分短くて、交差導波路28は方向性結合器として働かない（光結合が無視できる）。

【0047】

光導波路32、33のうち、第1方向性結合器27の入力側の光導波路（部分）34と33の間、及び、第2方向性結合器29の出力側の光導波路（部分）35と36の間との間は、光結合を避けるため方向性結合器の部分よりも離れている。

【0048】

光導波路32、33の両側に、曲ったり交差したりしていない進行波電極30、31が形成されている。進行波電極30、31の終端には、進行波の反射が生

じないように終端抵抗 38 が接続されている。

#### 【0049】

制御電極 39 及び 41 はそれぞれエアブリッジ 63 及び 163 を介して進行波電極 30 に電氣的に接続され、制御電極 40 及び 42 はそれぞれエアブリッジ 64 及び 164 を介して進行波電極 31 に電氣的に接続されている。進行波電極 30、31、エアブリッジ 63、163、64、164 及び制御電極 39～42 は、例えば金で形成されている。

#### 【0050】

制御電極 39 と制御電極 42 との間を実質的に絶縁するために、例えば、光導波路 43 の P 層の上部がエッチングにより削られ、又は、該 P 層の上部に鉄イオンが打ち込まれて、高抵抗化されている。制御電極 40 と制御電極 41 との間の光導波路 44 の P 層についても同様である。なお、削られる前の該 P 層が充分薄くて実質的に該絶縁がなされていれば、このような処理は不要である。

#### 【0051】

第 1 方向性結合器 27 と第 2 方向性結合器 29 との長さの合計は、結合長  $\pi / (2\kappa)$  より大きくて該結合長の 3 倍より短い。

#### 【0052】

このような方向性結合器型変調器 100 は、 $\Delta\beta$  反転方向性結合器型変調器 2 (図 3 参照) のように、入力電圧信号によりクロス状態及びバー状態の両方を制御することができる。注目すべき点は、反対極性の 2 入力信号を使用する必要がなく、1 つの入力信号駆動および不交差進行波電極構成を可能にする点である。

#### 【0053】

方向性結合器型変調器 100 の動作は以下のとおりである。以下において、光導波路 32 に入射した光が全て同一側の光導波路 35 から出射する場合をバー状態、光導波路 32 に入射した光が全て反対側の光導波路 36 から出射する場合をクロス状態と称する。このため、図 3 で説明したバー状態及びクロス状態を得るための電圧  $V_b$  及び  $V_c$  と、本実施の形態でバー状態及びクロス状態を得るための電圧  $V_{b'}$  及び  $V_{c'}$  とは、 $V_b = V_{c'}$ 、 $V_c = V_{b'}$  の関係にある。

#### 【0054】

$\Delta\beta$ 動作モードを達成するために、1組のエアブリッジ63、64、163、164を通して、方向性結合器導波路上の制御電極39、40、41、42に電圧信号が印加される。この印加状態では、第1方向性結合器27と第2方向性結合器29の極性は同じである（この点は $\Delta\beta$ 反転方向性結合器型変調器2（図3参照）と異なる）。

#### 【0055】

低い伝播定数差 $\Delta\beta$ （理想的には0）のための電圧 $V_b'$ を信号発生器37から進行波電極30、31間に印加すると、上側（図面上で上側）の光導波路34の入射光は、第1方向性結合器27の終端45、49において、各々入力電力の50%になる。終端45、49の光はそれぞれ交差導波路28でクロスし、第2方向性結合器29の始端48、51に至る。次いで上記相反性により、第2方向性結合器29の終端では、上側の光導波路のみに光が存在し、これが光導波路35から出射する。

#### 【0056】

印加電圧が $V_c'$ である場合、上側の光導波路34の入射光は、大きな伝播定数差 $\Delta\beta$ のために、第1方向性結合器27の上側の光導波路のみ通る。次いで、交差導波路の中を光が伝播した後に、第2方向性結合器29の下側の光導波路のみ伝播する。

#### 【0057】

本実施の形態によれば、交差導波路28の採用によって、第1方向性結合器27、第2方向性結合器29の制御電極に印加する電圧の極性を、同じにすることができる。これにより、直線の進行波電極を用いて、交差するRF信号を無くし、RF性能を改善することができ、高周波動作が可能となる。

#### 【0058】

また、構造パラメータの製造公差を広くしつつ、より高周波の信号電圧でバー状態及びクロス状態の両方を完全に制御することが可能となる。

#### 【0059】

図5の構成では、電気信号波長に比し長い制御電極が進行波特性に大きく影響して、伝送損失を引き起こすので、適切に動作させるためには、図5に示す各制

御電極 39、40、41、42 の長さを、進行波電極 30、31 を通る電気信号の波長より短くしなければならない。

#### 【0060】

図 7 は、このような問題点を解消する構造を有する方向性結合器型変調器 102 を示す平面図である。この方向性結合器型変調器 102 は、図 1 に示した光素子 430 の具体例である。

#### 【0061】

図 5 の各方向性結合器の制御電極が分割され、図 7 に示されるように、2 組の 3 つの部分 43、44 および 45 になっている。各制御電極片は、別々にエアブリッジ 63、64 を通って、外側の進行波電極 47、48 に接続されている。

#### 【0062】

信号発生器 49 からの電氣的駆動信号は、進行波電極 47、48 の各々の入力ポートに印加され、次いでそれぞれ進行波電極 47、48 を通り、エアブリッジ 63、64 を通って、各制御電極 43、44、45、46 に伝播する。進行波電極 47、48 の終端には、 $50\ \Omega$  の終端抵抗が接続されている。

#### 【0063】

光導波路のトポロジーは、図 5 のものと同一である。第 1 方向性結合器 51、交差導波路領域 52 および第 2 方向性結合器 53 は、カスケード接続されている。

#### 【0064】

したがって、入力導波路 54 に入射した光は、入力信号電圧によって出力導波路 55 あるいは 56 に切替えられる。

#### 【0065】

変調器が信号波長に比し長いこの構成は、低損失の電氣的伝送をもたらす。同様の構成に基いて、より長い変調器に対しても入力インピーダンスを目標値（典型的には  $50\ \Omega$ ）に維持することができる。

#### 【0066】

図 8 は、図 1 に示した光素子 430 の具体例としての方向性結合器型変調器 104 を示す縦断面図（図 9 の例えば断面 5-5 の位置に相当する）である。



## 【0067】

この構成では、リッジ導波路構造を採用している。N型クラッド層57、I (Intrinsic) コア層58、および制御電極に接するP型クラッド層59がGaAs又はInPなどの半絶縁性閃亜鉛鋅型結晶の基板60上に配置されている(この点は、他の実施の形態についても同様)。電気信号は、進行波電極30、31からエアブリッジ63、64を通してP型クラッド層59に供給される。エアブリッジを介して印加した電圧は、Iコア層58内によく閉じ込められた電界を生成するので、駆動電圧を最小にすることを可能にする。また、N型クラッド層57は、両方の外側の進行波電極30、31から完全にフローティング状態に維持され、好ましい。

## 【0068】

エアブリッジ63、64の下側のエアの代りに絶縁層を使用することができるかもしれないが、その厚さを、選ばれた半導体製造プロセスに適するものよりはるかに大きくする必要があるだろう。この理由のため、エアブリッジ構造は好ましい。

## 【0069】

領域65で表される光ビームは、Iコア層58とN型クラッド層57の屈折率差が小さく設定されているので、Iコア層58からN型クラッド層57内にはみ出し、N型クラッド層57を介して隣り合う光導波路に結合することができる。

## 【0070】

エアブリッジ63、64で供給された進行波電極30、31からのマイクロ波信号は、P-I-N構造により、各光導波路のIコア層58のみに電界を集中させる。したがって、Iコア層58において、光強度とマイクロ波信号強度のオーバーラップが増加し、結合領域長が調節されるにつれて駆動電圧が減少する。

## 【0071】

図10は、図8の構造の変形例であって、リッジ構造がない方向性結合器型変調器105を示す縦断面図である。

## 【0072】

この構造は、共通のIコア層58を含んでおり、この層は共通のN型クラッド

層 57 上に広がっている。ブリッジ間の I コア層 58 の部分の除去は必要ではない。更に、光結合が、この I コア層 58 で直接生じる。2 つの光導波路間の結合強度は、該 2 つの光導波路間の距離を規定することにより特定されるという点に留意すべきである。I コア層 58 の中の光閉込めは、かなり大きくしておくことができる。

#### 【0073】

図 11 は、図 1 に示した光素子 430 の具体例としての方向性結合器型変調器 106 の、一方の方向性結合器の位置での縦断面図を示す。

#### 【0074】

この実施の形態では、埋込ヘテロ構造 (BH) の光導波路構造を用いている。基板 60 上には、N 型クラッド (伝導) 層 66、一对の I コア層 67 および P クラッド層 68 が堆積されている。一对の I コア層 67 の各々の両側部は、半絶縁性クラッド層 70 で完全に埋め込まれている。電気信号は、進行波電極 71、72 からエアブリッジ 73、74 を通って供給される。領域 75 で表される光ビームは、半絶縁性クラッド層 70 より高い屈折率の I コア層 67 内に閉じ込められ、また、該光ビームは半絶縁性クラッド層 70 を通って隣接導波路に結合することができる。

#### 【0075】

一方、進行波電極 71、72 からエアブリッジ 73、74 を介し供給されたマイクロ波信号により生成される電界は、P-I-N かつ I コア層埋込の構造であることにより、各光導波路の I コア層 67 に集中する。したがって、I コア層内の光強度とマイクロ波信号強度の間のオーバーラップが増加し、一对の光導波路間の距離を設定して結合長が調節されている限りは、駆動電圧が低減する。

#### 【0076】

リッジ導波路構造と比較して、BH 光導波路構造は、より複雑であるが、きつい光閉込めにより、より低い光学的挿入損を示す。

#### 【0077】

図 12 は、図 1 に示した光素子 430 の具体例としての方向性結合器型変調器 108 を示す図である。同図においては、光交差導波路として、実際に交差した

光導波路の代りにクロス状態方向性結合器 76 が使用されている。図中の矢印は、クロス状態であることを示している。クロス状態方向性結合器 76 は、クロス状態の方向性結合が生ずるように互いに平行に接近して配置された一対の光導波路で構成されている。

#### 【0078】

注目すべき点は、クロス状態方向性結合器 76 の一対の光導波路間の距離が、第 1 または第 2 方向性結合器領域のそれらと比較して短いことである。この構造により結合長がより短くなり、よりコンパクトな変調器を提供することができる。

#### 【0079】

クロス状態方向性結合器 76 以外の部分は、上記又は後述の実施の形態のいずれの構造であってもよい。

#### 【0080】

この方向性結合器型変調器 108 によれば、クロス状態方向性結合器 76 の光導波路がその前後の光導波路と同じ層に連続的に形成されており、立体的に交差していないので、製造が容易で実用的である。

#### 【0081】

図 13 は、図 1 に示した光素子 430 の具体例としての方向性結合器型変調器 110 を示す図である。同図においては、光交差導波路として、2つの入力ポート 121、122 および 2つの出力ポート 123、124 を備えた  $2 \times 2$  マルチモード干渉 (MMI) 結合器 77 が採用されている。 $2 \times 2$  MMI 結合器 77 の幅  $W$  および長さ  $L$  を適当に選ぶことによって、L. B. ソルダーノ博士らによって述べられているように ("Optical Multi-Mode Interference Devices Based on Self-Imaging: Principles and Applications" Journal of Lightwave Technology, vol. 13, No. 4, pp. 615-627, April 1995.)、反対側の光導波路の位置に鏡像を得ることができる。

#### 【0082】

光交差導波路としてこのような同層構造の方向性結合器を使用することにより、光交差導波路をチップに容易に形成することができる。

**【0083】**

4つの制御電極間は、 $2 \times 2$  MMI 結合器 77 の PIN 構造の P 層につき高抵抗化処理により、又は処理前に、実質的に絶縁されている。

**【0084】**

$2 \times 2$  MMI 結合器 77 以外の部分は、上記又は後述の実施の形態のいずれの構造であってもよい。

**【0085】**

図 14 は、図 1 に示した光素子 430 の具体例としての方向性結合器型変調器 112 を示す図である。

**【0086】**

ここでは、光交差導波路として、簡単な X 型交差導波路 80 およびその前後の屈曲導波路 81、82 が用いられている。

**【0087】**

この構成では、図 12 のクロス状態方向性結合器 76 や図 13 の  $2 \times 2$  MMI 結合器 77 に対して要求される導波路構造パラメータを正確に調整する必要がないので、比較的単純な構造を用いた波長無依存の光交差導波路が得られる。

**【0088】**

4つの制御電極間は、X 形交差導波路 80 の PIN 構造の P 層につき高抵抗化処理により、又は処理前に、実質的に絶縁されている。

**【0089】**

光交差導波路以外の部分は、上記又は後述の実施の形態のいずれの構造であってもよい。

**【0090】**

図 15 は、図 1 に示した光素子 430 の具体例としての方向性結合器型変調器 114 の一部の斜視図（一律の縮尺ではない）を示す。該一部は、例えば図 7 の一方の方向性結合器の一部に相当しており、光導波路の長手方向に関し分割された制御電極を備えている。

**【0091】**

進行波伝送は、周波数が高くなるにつれ、光導波路上の長手方向制御電極間の

電氣的相互作用に影響される。よい進行波伝送特性を維持するためには、該相互作用を除去した方がよい。該長手方向制御電極間の絶縁が十分でない場合、後方への伝送が容易に引き起こされて、電氣的反射損失が増加する。

#### 【0092】

図15を参照すれば、P型クラッド層83、84は、制御電極131、132、133、134の下でのみ配置されている。すなわち、リッジ構造の光導波路上の制御電極間のP型クラッド層が除去されている。したがって、制御電極131と132の間及び133と134の間の電流はかなり抑えられる。その結果、そうでなければそのような漏電流で引き起こされた相互作用は、回避される。

#### 【0093】

一方、Iコア層85および86、ならびに基板60上のN型クラッド層66の中の光ビームは、この領域で、大きな光損失なく伝播することができる。リッジ構造の光導波路では、図8に示すようにコア層から下側のクラッド層へ光が大きく侵入しており、上側のクラッド層への光の侵入を無視できるので、このような上側の制御電極間クラッド層の除去は問題ない。

#### 【0094】

図16は、図1に示した光素子430の具体例としての方向性結合器型変調器116を示す。

#### 【0095】

$\Delta\beta$  切換方向性結合器として動作するために、2つの方向性結合器87、88を備える必要がある。方向性結合器87と88とは、光導波路の屈折率変化の大きさが同じで極性が逆になるように、所望の屈折率変化を得るように電気光学I層（不図示）の電界の変化を制御すべきである。図16では、この目的を達成するためにDCバイアス電極が設けられている。

#### 【0096】

すなわち、バイアス電圧印加用のパッド91は、図16に示すように、N+型電極層92の上に堆積している。このN+型電極層92は、全体の光導波路と基板の間に配置されている。すなわち、N+型電極層92の上にPIN光導波路のN層が堆積している。N+型電極層92は、全体の光導波路に沿って形成され、

中間部は広幅の一直線になっている。

【0097】

外側の進行波電極 89、90 に接続された制御電極 39、40、41、42 は、コア層の電界強度変化を引起すことができるが、本発明の方向性結合器型変調器 116 は P-I-N 半導体構造に基いているので、ダイオード特性を有する。

【0098】

パッド 91 には、変調モード中に、全ての光導波路をダイオード特性の負バイアス（逆バイアス）状態にさせる DC 電圧が印加される。この電圧は、信号発生器 93 の RF 出力信号の最大値の半分である。例えば、バー状態及びクロス状態にするときの RF 出力信号がそれぞれ 0 V 及び 1 V で、DC バイアス電圧が 0.5 V である。なお、94 は終端抵抗である。

【0099】

図 17 は、図 1 に示した光素子 430 の具体例としての方向性結合器型変調器 117 を示す平面図である。

【0100】

この方向性結合器型変調器 117 は、図 16 の構成にさらに、出力段に方向性結合器型光減衰器 200 を備えている。

【0101】

方向性結合器型光減衰器 200 は、光導波路 34 の出力側を延設した光導波路 201 と、光導波路 201 と方向性結合が生ずるように平行に接近して配置された光導波路 202 と、PIN 構造の光導波路 202 の P 層（不図示）上に接合された制御電極 203 と、201 及び 202 の下方まで延設された N+ 型電極層 92 とを備え、制御電極 203 には、可変 DC 電源 205 の出力電位が印加される。光導波路 202 の長さは、結合長  $\pi / (2\kappa)$  の偶数倍、例えば 2 倍の長さである。

【0102】

N+ 型電極層 92 と制御電極 203 との間の電圧  $V$  が 0 である場合、光導波路 201 に入った光は全て光導波路 201 の出口から出射する。この電圧  $V$  が 0 でないとき、電圧値  $V$  に応じて、光導波路 201 に入った光の一部が光導波路 20

2の出口から出射するので、結果として、光導波路201の出口から出射する光は減衰された光となり、方向性結合器型光減衰器200が可変光減衰器として機能する。

#### 【0103】

光減衰量、すなわちDC電圧Vは、光導波路201に接続される不図示の光通信システムが要求する光入力のパワーにより定められる。

#### 【0104】

光導波路201から離れた光導波路202上に制御電極203が備えられているので、制御電極203は制御電極41に影響を与えず、方向性結合器型変調器117の変調性能が確保される。

#### 【0105】

なお、光導波路202の長さを結合長の奇数倍にし、光導波路202の出口を方向性結合器型変調器117の出力ポートとしてもよい。また、光導波路202及びこの上に接合された制御電極203の位置は、光導波路201に対し図17の場合の反対側であってもよい。すなわち、光導波路202は、光導波路201と方向性結合が生ずるように平行に接近して配置されていればよい。さらに、電圧Vにより減衰量を調整できるので、光導波路202の長さは、結合長の整数倍でなくてもよい。

#### 【0106】

同様に、光導波路202の替わりに、光導波路33を延設した光導波路204（光導波路204は、光導波路201と光結合が生じないように離れている。）と方向性結合が生ずるように平行に接近して光導波路を配置し、この光導波路又は光導波路204の出口を方向性結合器型変調器117の出力ポートとしてもよい。

#### 【0107】

また、方向性結合器型光減衰器200を、図16の構成の入力段に備えてもよい。

#### 【0108】

以上説明したように、実施の形態1によれば、入射側に設けられた光ファイバ

301より入射された光を半導体光増幅部410で増幅し、増幅された光を伝搬させた後、出射側に設けられた光ファイバ302へ光素子430より出射させることとしたので、光伝送路（光ファイバ）に対する挿入損失を低減することができる。

#### 【0109】

また、実施の形態1によれば、直流制御部421（図2参照）により、逆方向の直流電流または順方向であって所定値以下の直流電流を注入させ、光減衰を制御することとしたので、オプティカルシャッタとしても機能させることができる。

#### 【0110】

（実施の形態2）

図18は、本発明にかかる実施の形態2の構成を示す図である。この図において、図1の各部に対応する部分には同一の符号を付ける。図18においては、図1に示した光モジュール400に代えて、光モジュール500が設けられている。

#### 【0111】

光モジュール500においては、半導体光増幅部410と光素子430との間に電氣的絶縁部510が新たに設けられている。電氣的絶縁部510は、半導体光増幅部410と光素子430とを電氣的に絶縁する一方、光学的に結合させる機能を備えている。

#### 【0112】

図19は、図18に示した電氣的絶縁部510の構成を示す平面図である。電氣的絶縁部510は、平行配置された1対の光導波路511および光導波路512を備えている。また、電氣的絶縁部510において、クロス状態の方向性結合が生ずるように互いに平行に接近して配置された光導波路部分は、クロス状態方向性結合部510aとされている。

#### 【0113】

半導体光増幅部410で増幅された光は、光導波路511の入射端511aに入射された後、光導波路511を伝搬し、クロス状態方向性結合部510aでク



ロスし、光導波路 512 を伝搬する。そして、光導波路 512 の出射端 512 a より出射された光は、光素子 430 に入射される。

#### 【0114】

以上説明したように、実施の形態 2 によれば、半導体光増幅部 410 と光素子 430 とを電氣的に絶縁する一方、光学的に結合させる電氣的絶縁部 510 を備えたこととしたので、半導体光増幅部 410 および光素子 430 に対して独立的に安定した制御を行うことができる。

#### 【0115】

以上本発明にかかる実施の形態 1 および 2 について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成例はこれらの実施の形態 1 および 2 に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等があっても本発明に含まれる。

#### 【0116】

例えば、実施の形態 1 および 2 においては、図 2 を参照して、半導体光増幅部 410 の一構成例について説明したが、図 2 の構成例に限定されることなく、光増幅（光減衰）の機能を有するものであれば、他の構成例であっても本発明に含まれる。

#### 【0117】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、入射側に設けられた光伝送路より入射された光を半導体で構成された光増幅部で増幅し、増幅された光を伝搬させた後、出射側に設けられた光伝送路へ光素子より出射させることとしたので、光伝送路に対する挿入損失を低減することができる。

#### 【0118】

また、本発明によれば、直流制御部により、逆方向の直流電流または順方向であって所定値以下の直流電流を注入させ、光減衰を制御することとしたので、オプティカルシャッタとしても機能させることができる。

#### 【0119】

また、本発明によれば、光素子において第 1 光導波路と第 2 光導波路とを光学的な交差が生じる位置関係で配置することとしたので、1 対の第 1 制御電極（1

対の第2制御電極)に印加される制御電圧の極性を同じにすることができ、これにより、互いに交差しない第1リード電極及び第2リード電極を配置することができ、構造パラメータの製造公差を広くしつつRF性能が改善されてより高周波の変調動作が可能になり、光通信システムの高速化に寄与することができるという効果を奏する。

#### 【0120】

また、本発明によれば、交差の部分として、2x2マルチモード干渉結合器、X形交差導波路、又は、互いに略平行に接近した状態で配置された第1光導波路および第2光導波路を用いれば、前後の光導波路と同層に交差の部分的形成することができ、立体交差路を備える必要がないので、製造が容易であるという効果を奏する。

#### 【0121】

また、本発明によれば、交差の部分として、互いに略平行に接近した状態で配置された第1光導波路および第2光導波路を用いた場合にはさらに、交差の部分における第1光導波路と第2光導波路との間隔を、他部分における第1光導波路と第2光導波路の間隔よりも狭くすることにより、コンパクトな構成とすることができるという効果を奏する。

#### 【0122】

また、本発明によれば、第1及び第2制御電極について、長手方向に関し複数に分割された制御電極片を有することとしたので、制御電極片間の漏電流が抑えられ、該漏電流で引き起こされる相互作用を回避することができる。

#### 【0123】

また、本発明によれば、第3光導波路、第4光導波路および該第4光導波路のコア層に電界をかけて該コア層の屈折率を変化させるための第3制御電極を設けることとしたので、屈折率の変化により光を減衰させる可変光減衰器として機能させることができる。

#### 【0124】

また、本発明によれば、光増幅部とモジュール部とを電氣的に絶縁する一方、光学的に結合させる電氣的絶縁部を備えたこととしたので、光増幅部および光素

子に対して独立的に安定した制御を行うことができる。

【0125】

また、本発明によれば、光通信システムにおいて、光伝送路に対する光モジュールの挿入損失を低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明にかかる実施の形態1の構成を示す図である。

【図2】

図1に示した半導体光増幅部410の構成を示す図である。

【図3】

図1に示した光素子430の具体例としての $\Delta\beta$ 反転方向性結合器型変調器2の構成を示す平面図である。

【図4】

図1に示した光素子430の具体例としての $\Delta\beta$ 反転方向性結合器型変調器4の構成を示す図である。

【図5】

図1に示した光素子430の具体例としての方向性結合器型変調器100を示す平面図である。

【図6】

図5の3A-3A線に沿った縦断面図である。

【図7】

図1に示した光素子430の具体例としての方向性結合器型変調器102の構成を示す平面図である。

【図8】

図1に示した光素子430の具体例としての方向性結合器型変調器104の構成を示す縦断面図である。

【図9】

図8に示した方向性結合器型変調器104の平面図である。

【図10】

図 1 に示した光素子 4 3 0 の具体例としての方向性結合器型変調器 1 0 5 の構成を示す縦断面図である。

【図 1 1】

図 1 に示した光素子 4 3 0 の具体例としての方向性結合器型変調器 1 0 6 の構成を示す縦断面図である。

【図 1 2】

図 1 に示した光素子 4 3 0 の具体例としての方向性結合器型変調器 1 0 8 の構成を示す縦断面図である。

【図 1 3】

図 1 に示した光素子 4 3 0 の具体例としての方向性結合器型変調器 1 1 0 の構成を示す平面図である。

【図 1 4】

図 1 に示した光素子 4 3 0 の具体例としての方向性結合器型変調器 1 1 2 の構成を示す平面図である。

【図 1 5】

図 1 に示した光素子 4 3 0 の具体例としての方向性結合器型変調器 1 1 4 の一部構成を示す斜視図である。

【図 1 6】

図 1 に示した光素子 4 3 0 の具体例としての方向性結合器型変調器 1 1 6 の構成を示す平面図である。

【図 1 7】

図 1 に示した光素子 4 3 0 の具体例としての方向性結合器型変調器 1 1 7 の構成を示す平面図である。

【図 1 8】

本発明にかかる実施の形態 2 の構成を示す図である。

【図 1 9】

図 1 8 に示した電氣的絶縁部 5 1 0 の構成を示す平面図である。

【図 2 0】

従来の光モジュール 3 0 0 の実装状態を示す図である。

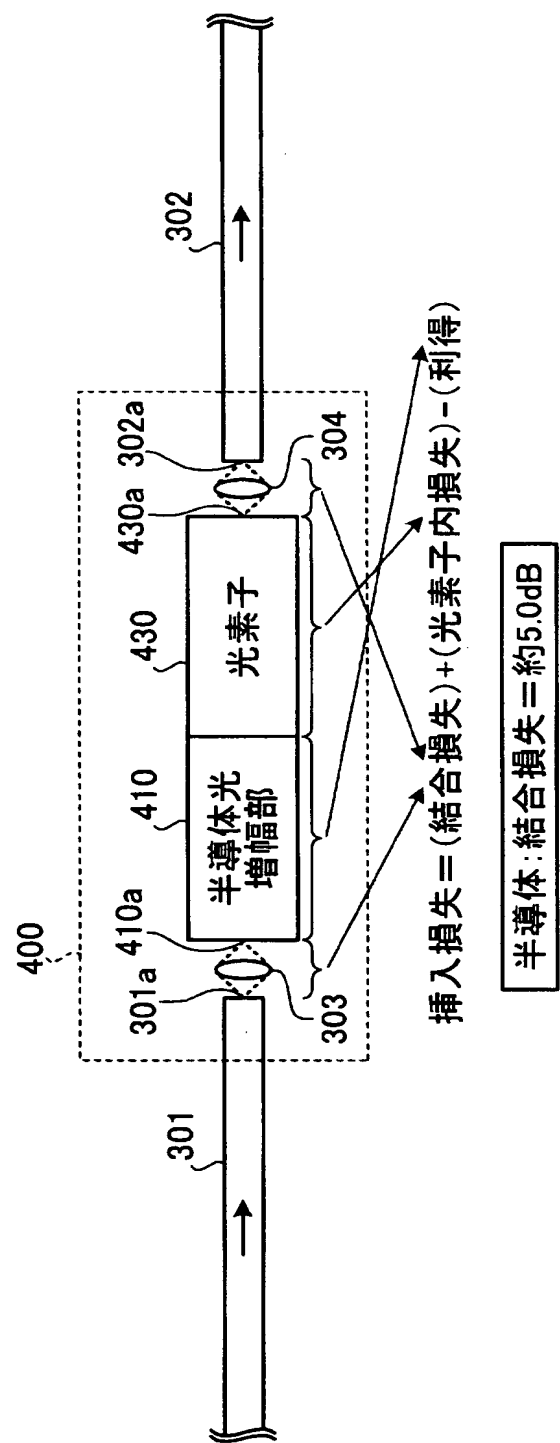
## 【符号の説明】

- 27、51、87 第1方向性結合器  
29、53、88 第2方向性結合器  
28、52 交差導波路  
30、31、47、48、71、72、89、90 進行波電極  
32、33 光導波路  
39～46、131～134 制御電極  
37、49、93 信号発生器  
38 終端抵抗  
57、66 N型クラッド層  
58、85、86 Iコア層  
59、68、83、84 P型クラッド層  
70 半絶縁性クラッド層  
60 基板  
63、64、163、164、73、74 エアブリッジ  
76 クロス状態方向性結合器  
77 2×2マルチモード干渉(MMI)結合器  
80 X形交差導波路  
81、82 屈曲導波路  
91 パッド  
92 N+型電極層  
100、102、104、108、110 方向性結合器型変調器  
400 光モジュール  
410 半導体光増幅部  
430 光素子  
500 光モジュール  
510 電氣的絶縁部

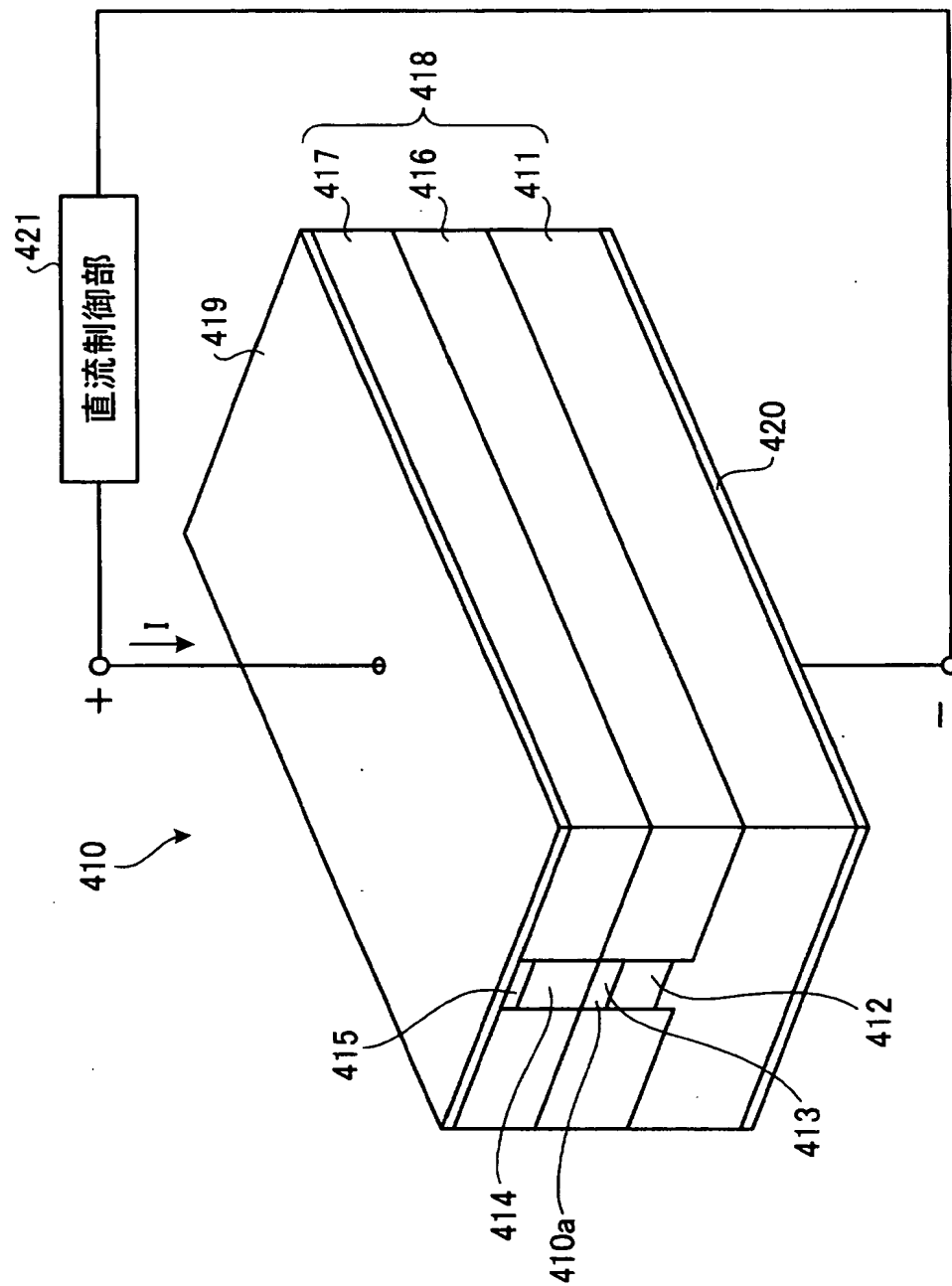
【書類名】

図面

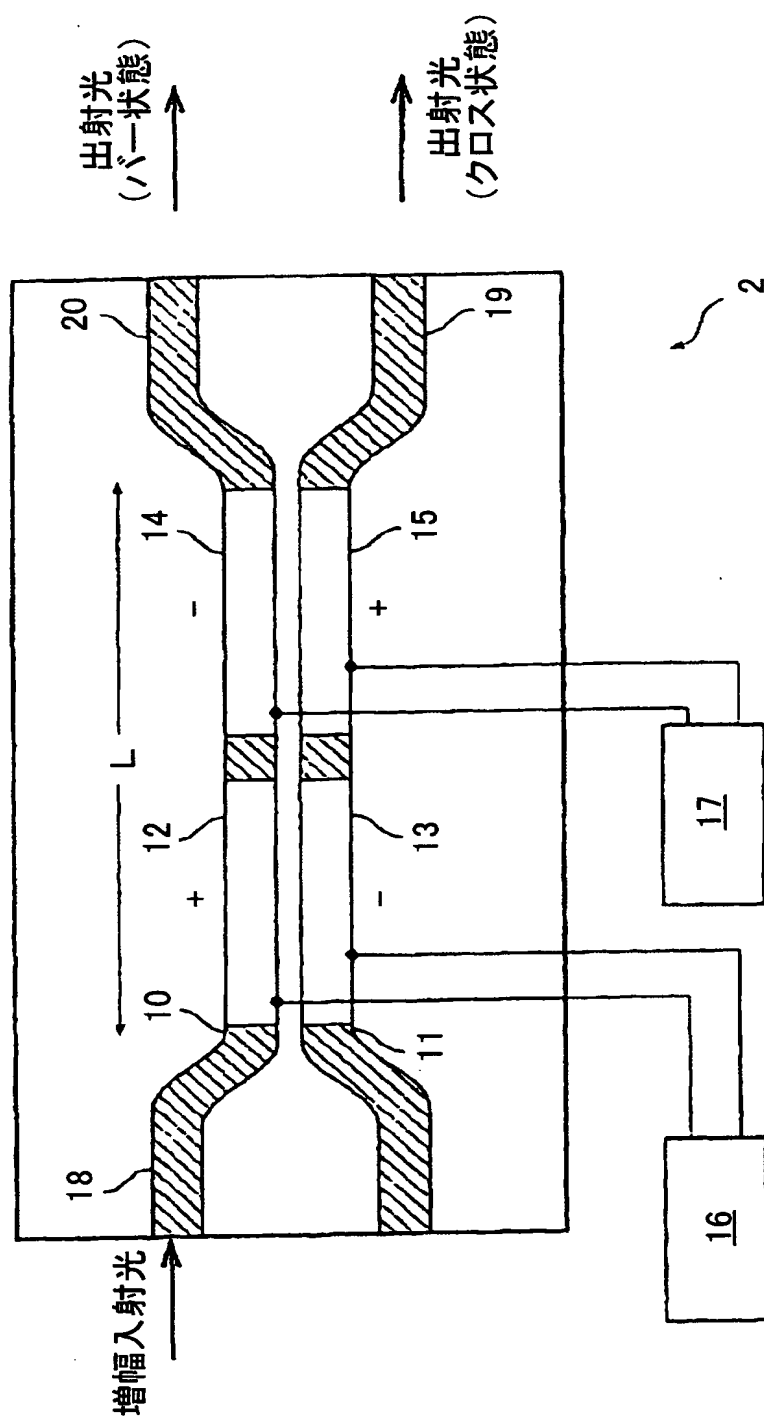
【図 1】



【図 2】

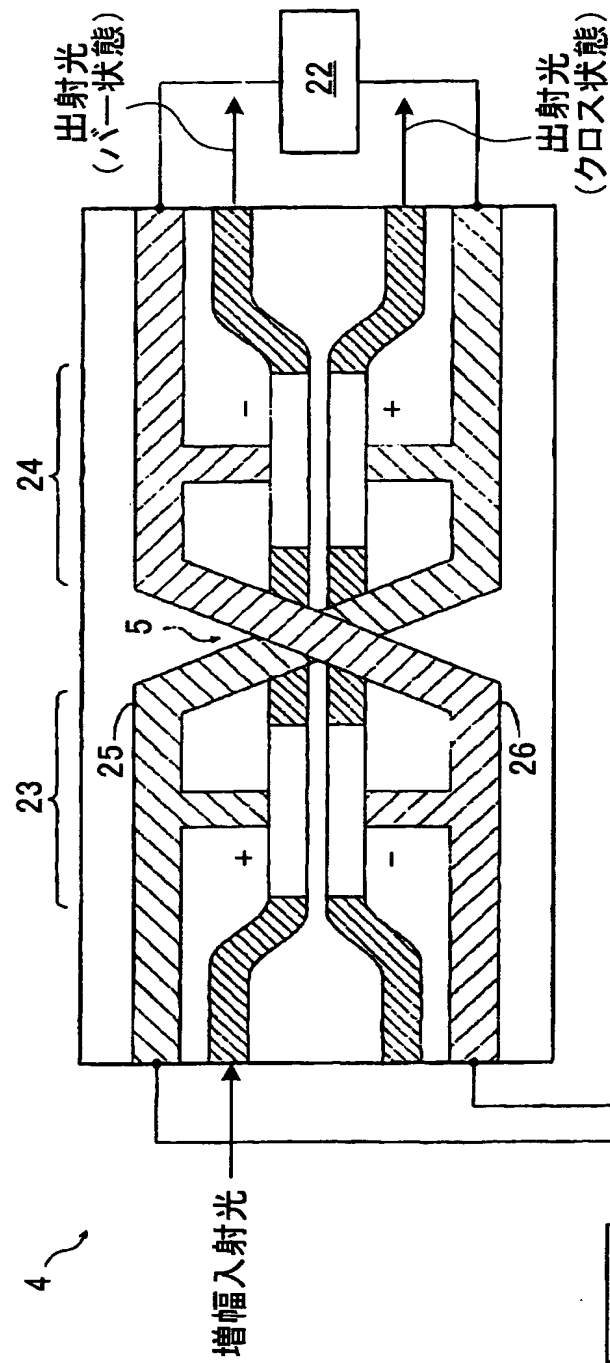


【図 3】

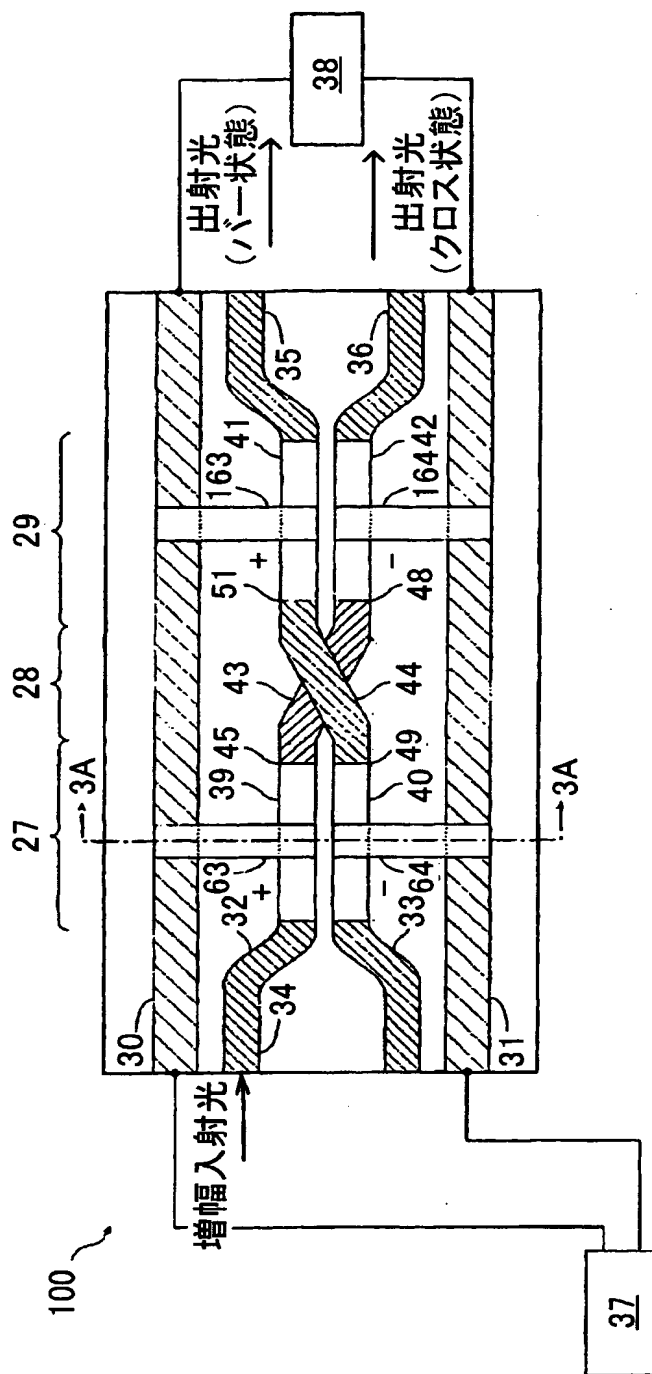




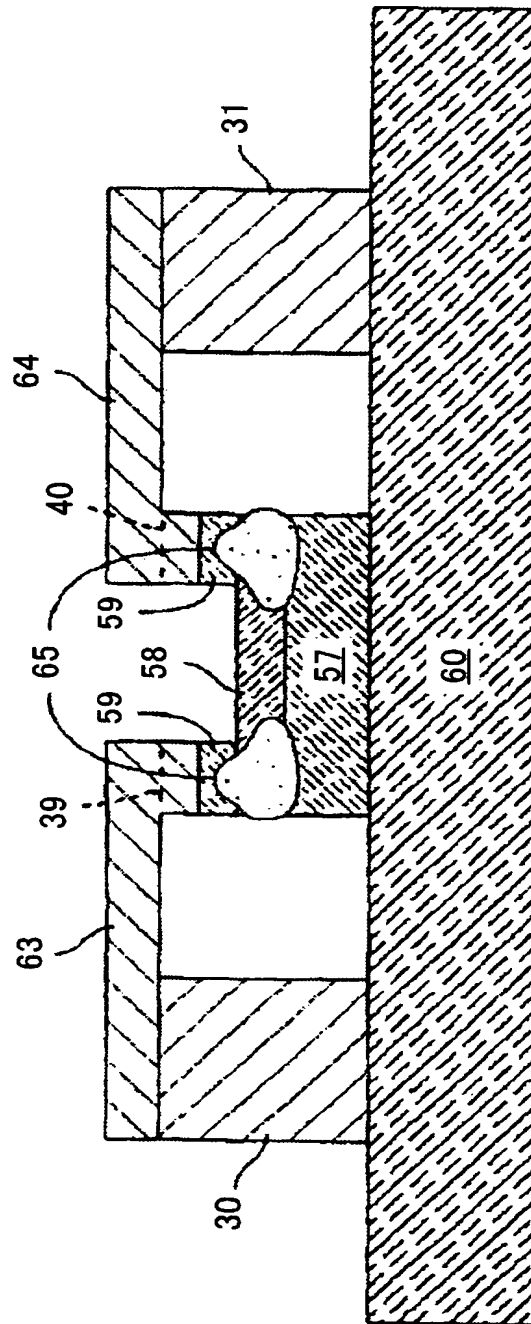
【図 4】



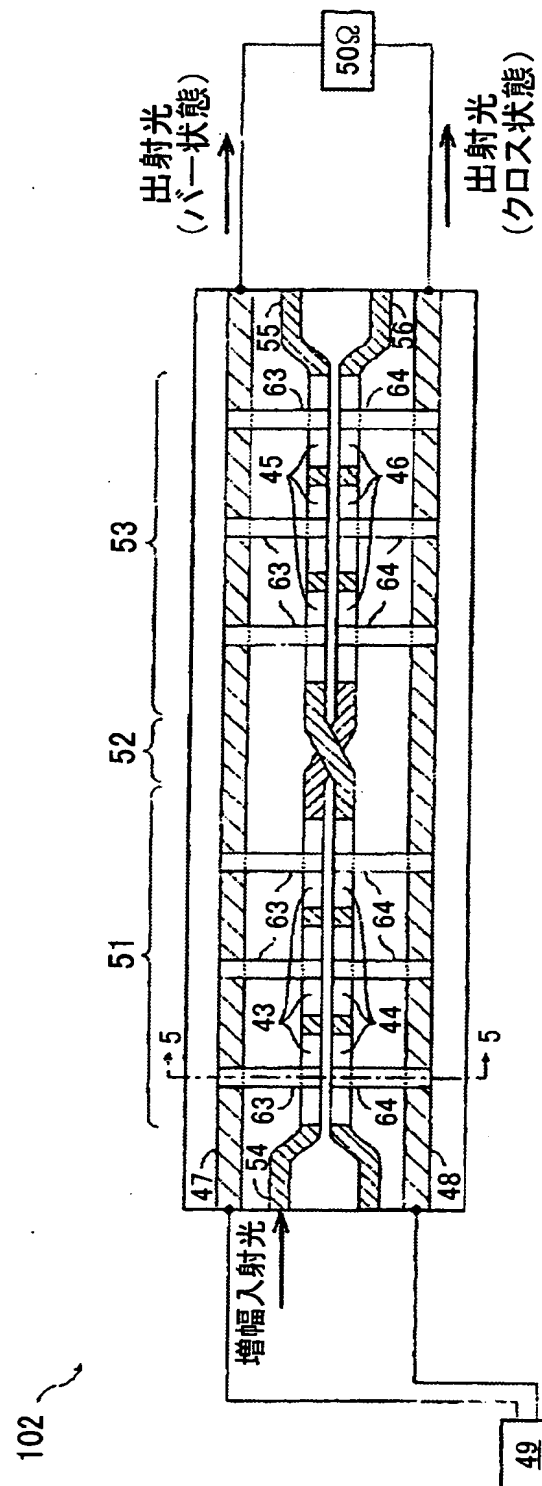
【図 5】



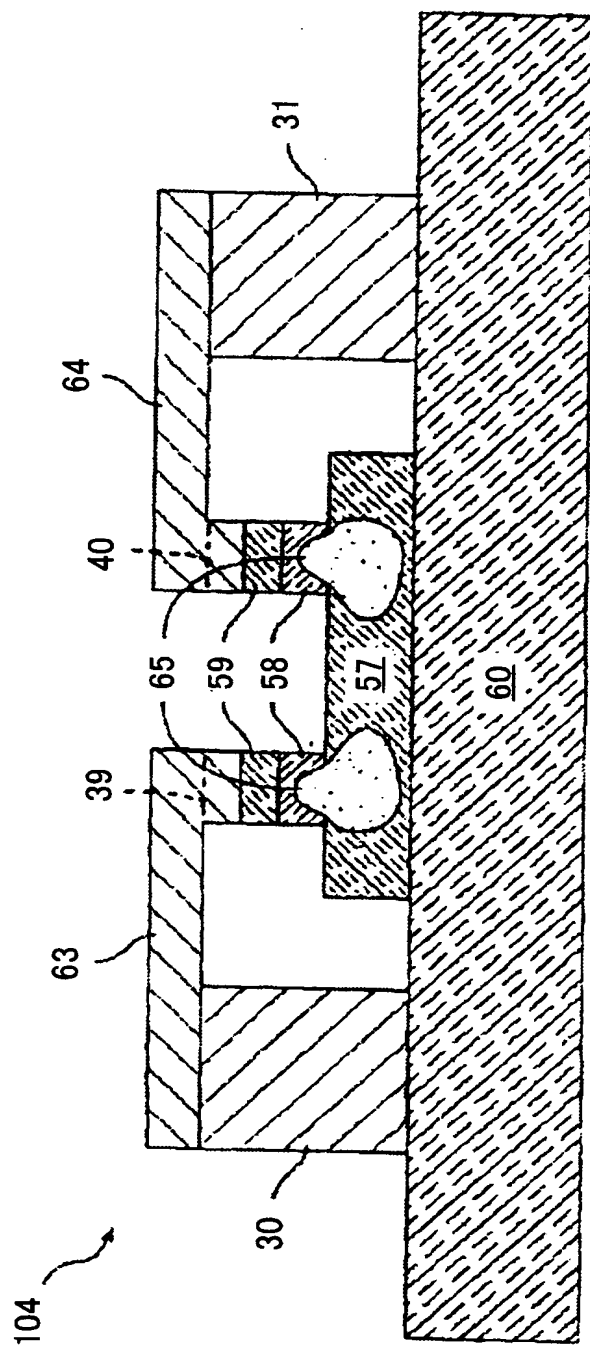
【図 6】



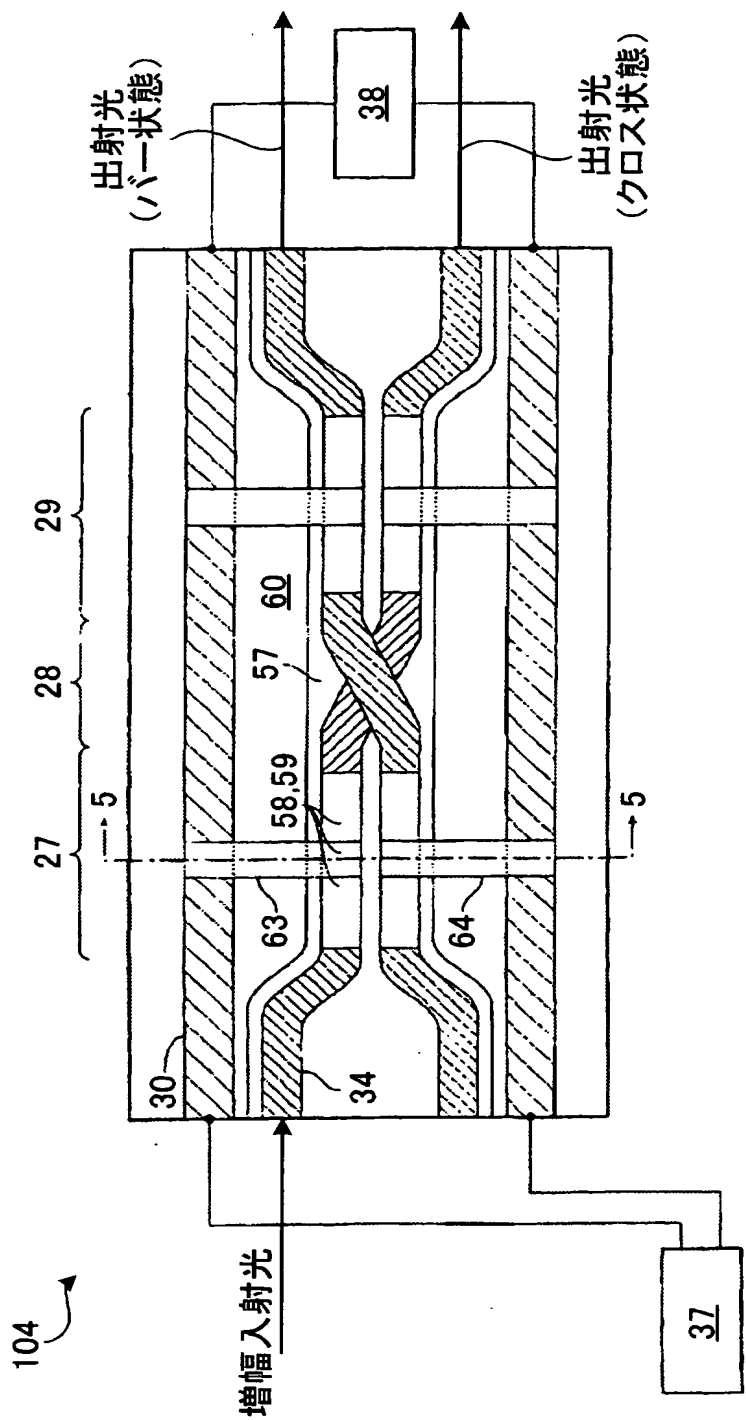
【図 7】



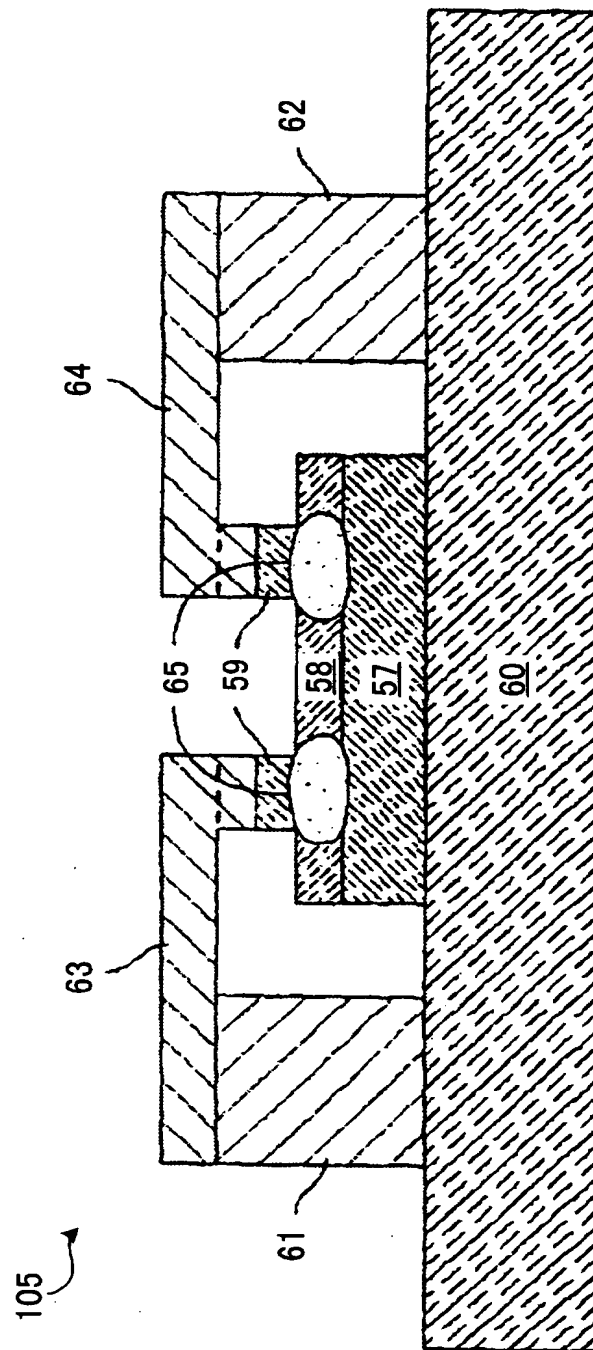
【図 8】



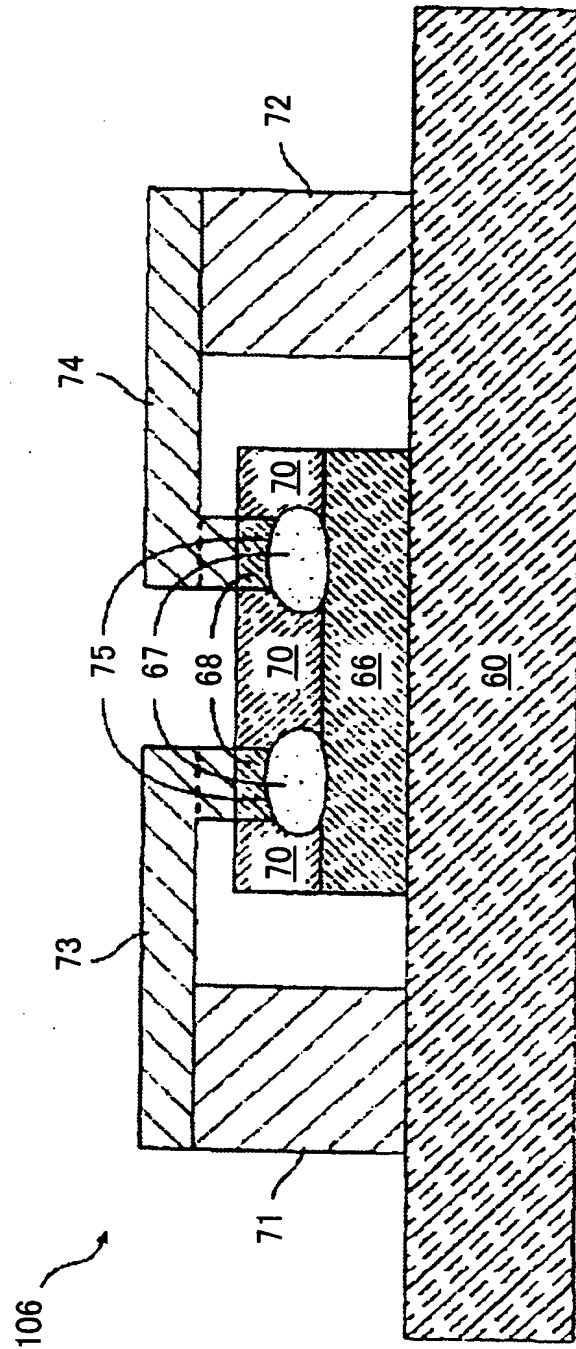
【図 9】



【図 10】

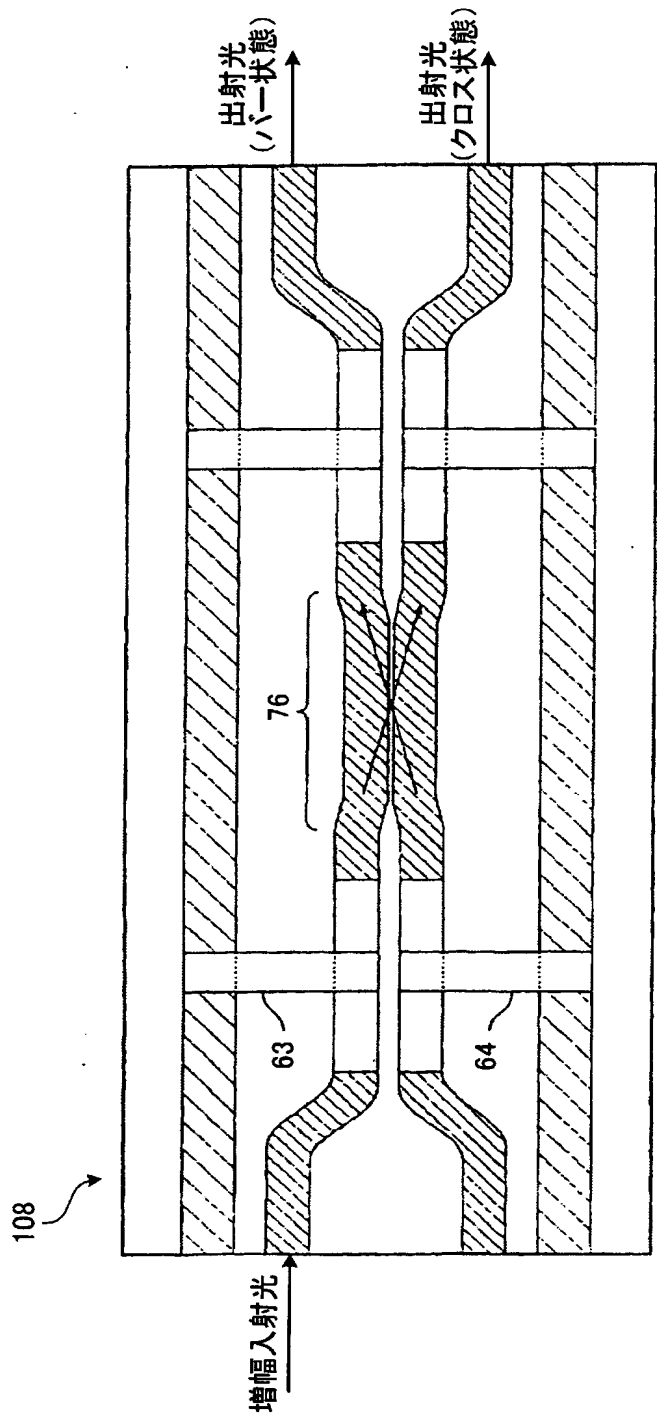


【図 11】



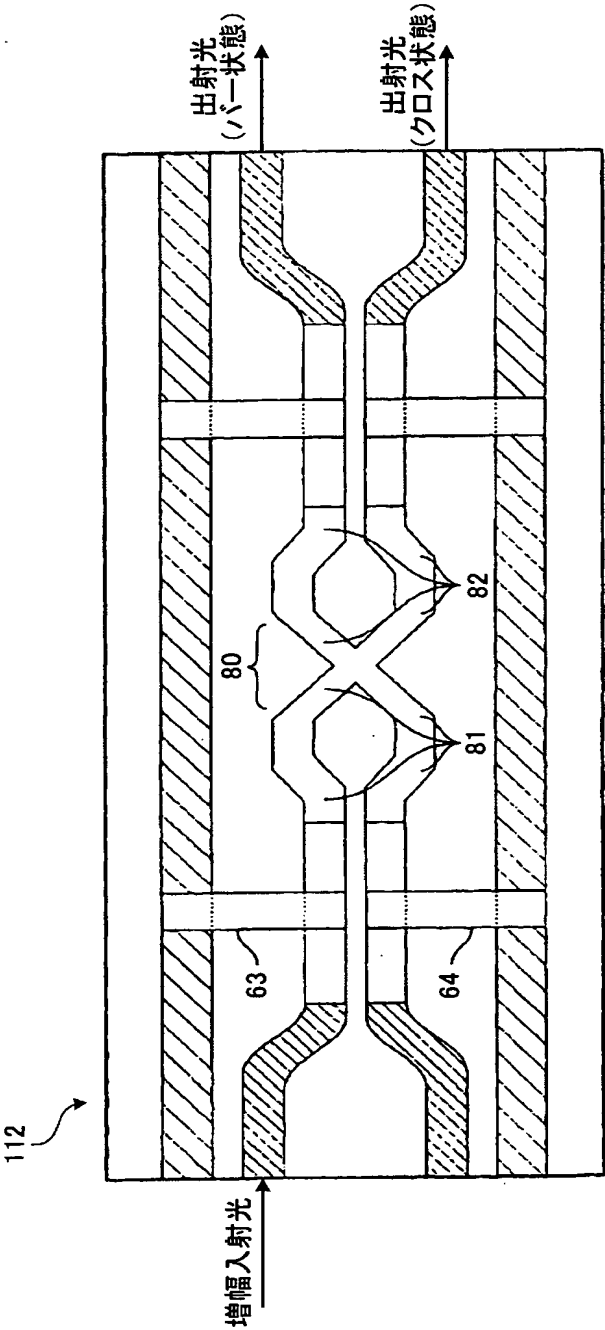


【図 12】

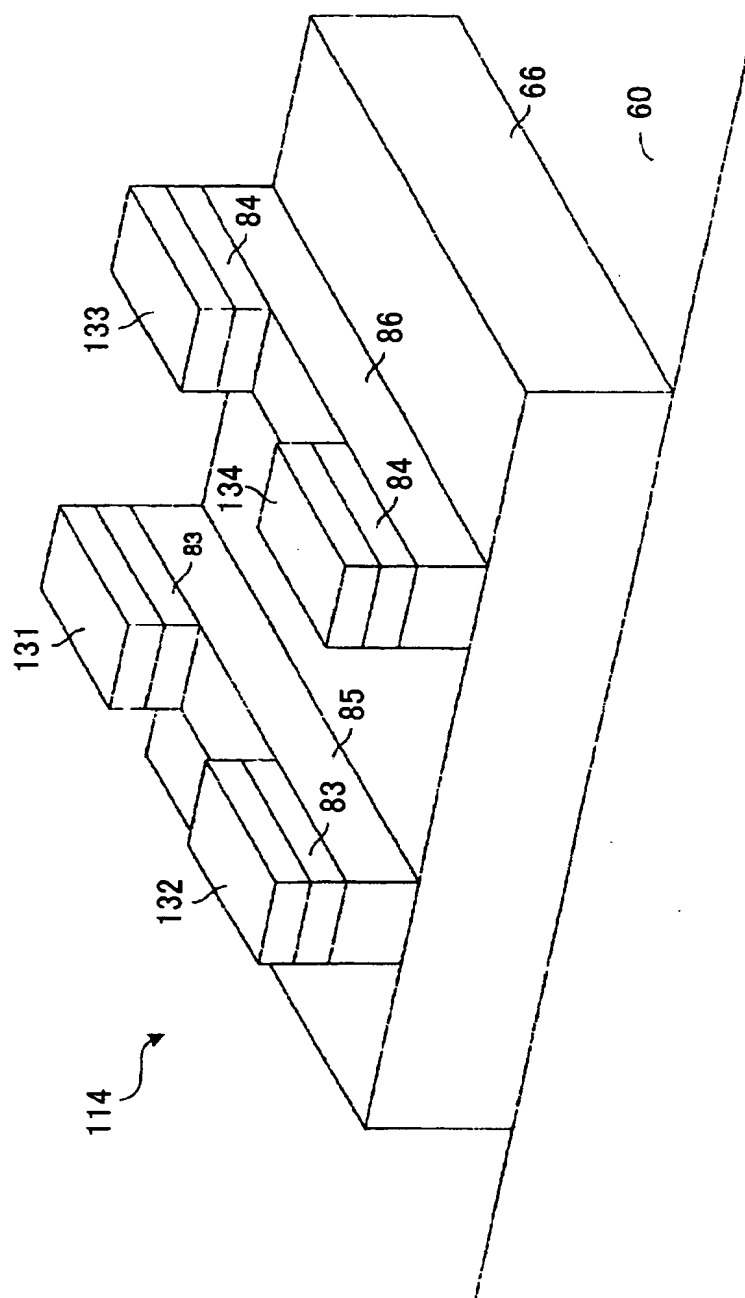




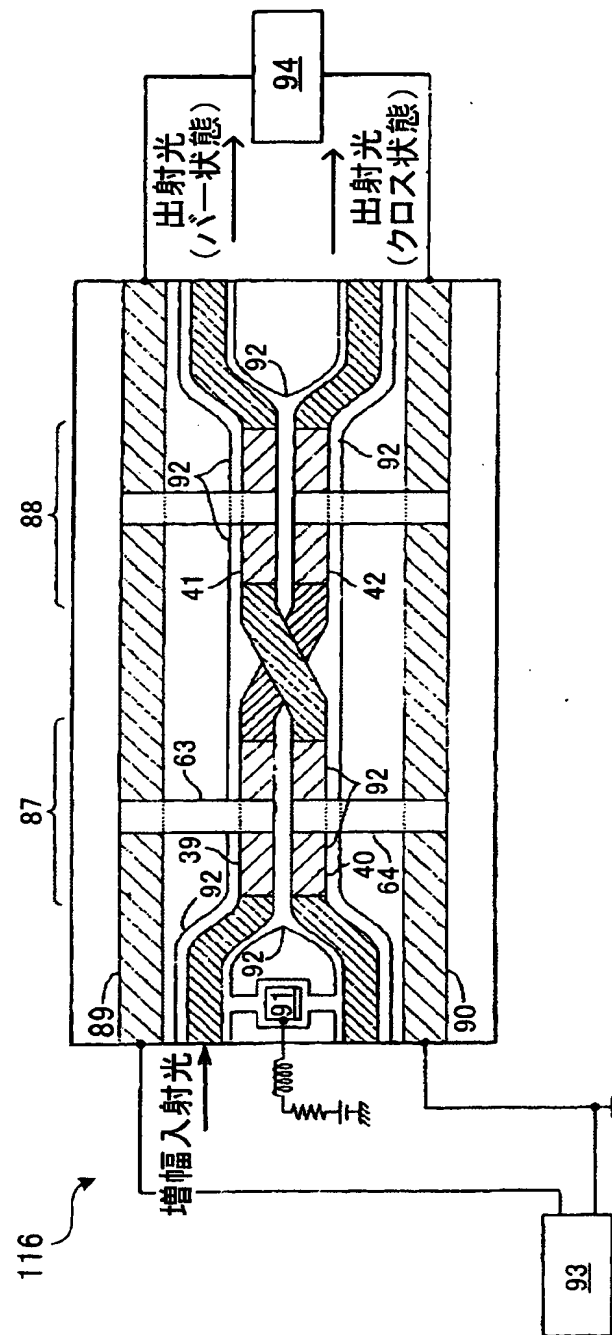
【図 14】



【図 15】

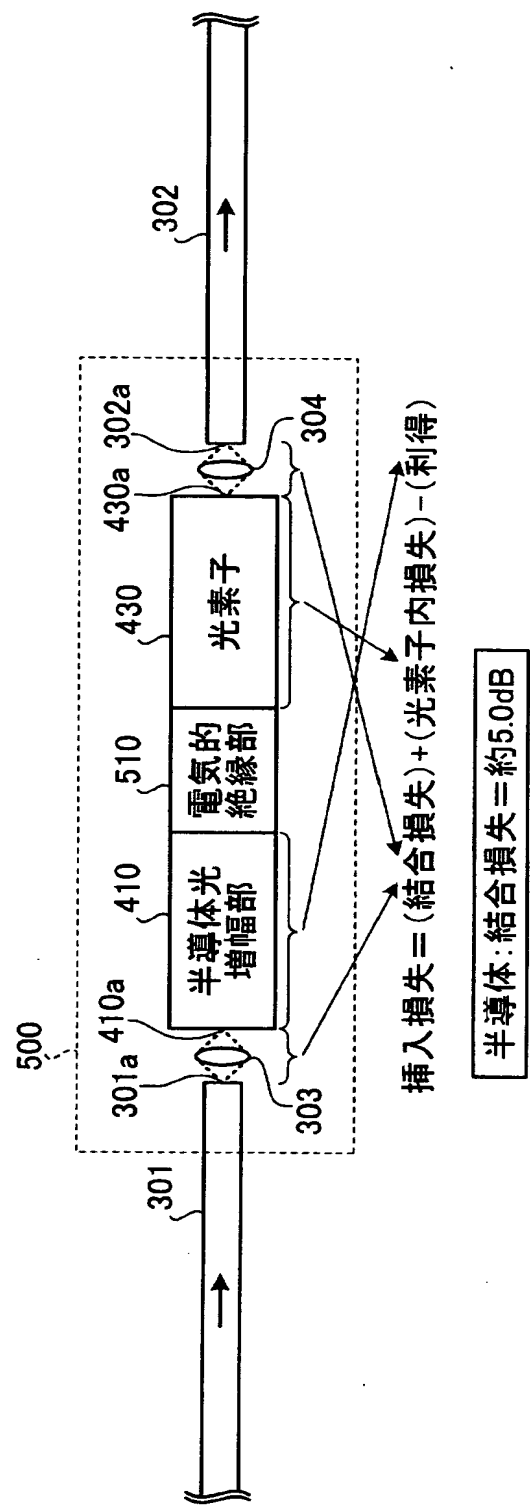


【図 16】

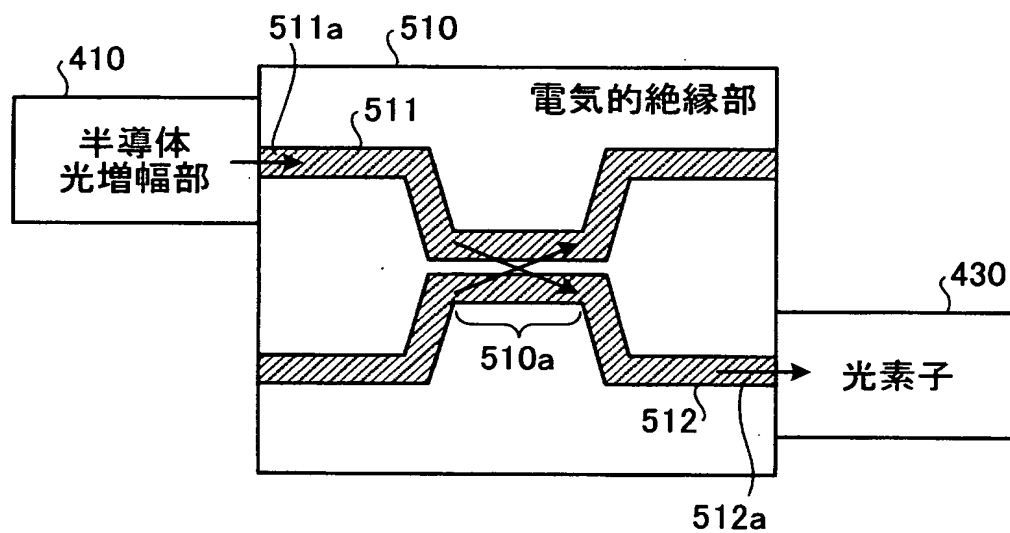




【図 18】

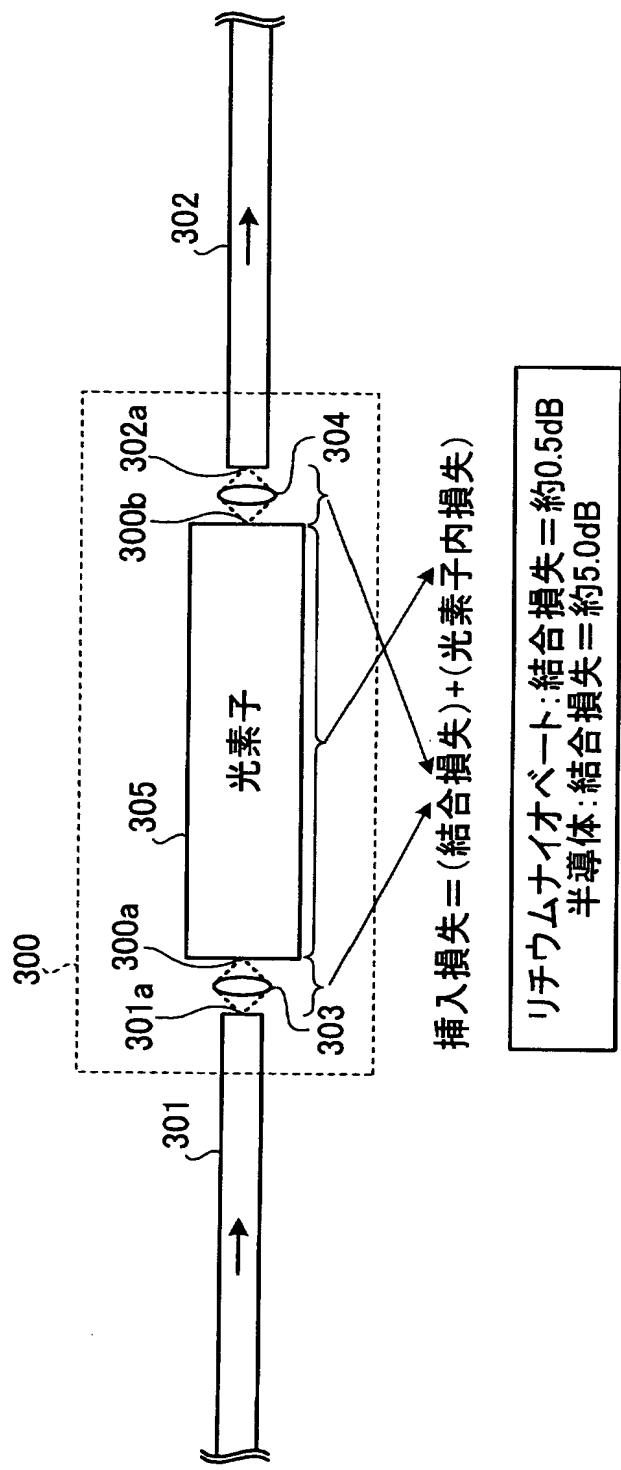


【図 19】





【図 20】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光伝送路に対する挿入損失を低減すること。

【解決手段】 光ファイバ 3 0 1 と光ファイバ 3 0 2 との間に挿入され、半導体光増幅部 4 1 0、光素子 4 3 0、レンズ 3 0 3、レンズ 3 0 4、光ファイバ 3 0 1 の端部および光ファイバ 3 0 2 の端部から構成された光モジュール 4 0 0 であり、半導体光増幅部 4 1 0 は、半導体で構成され、入射側に設けられた光ファイバ 3 0 1 より入射された光を増幅し、光素子 4 3 0 は、半導体で構成され、半導体光増幅部 4 1 0 により増幅された光を伝搬させた後、出射側に設けられた光ファイバ 3 0 2 へ出射させる。

【選択図】 図 1

特願 2003-207575

出願人履歴情報

識別番号

[303015538]

1. 変更年月日

2003年 3月13日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区有楽町1丁目10-1

氏 名

ファイベスト株式会社